

УДК 550.361 + 550.36.004.14 : 551.21 : 553.7.031.3

МАСУРЕНКОВ Ю. П., КОМКОВА Л. А., ПУЗАНКОВ М. Ю.,
ЕГОРОВА И. А.**СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОИСКОВ
ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД В РАЙОНЕ г. ЕЛИЗОВО НА КАМЧАТКЕ**

Реконструкция истории геологического развития вулканических центров и ассоциирующихся с ними купольно-кольцевых структур явилась основой для создания модели вулканических центров как элементарных ячеек эндогенного потока вещества и энергии [3, 4, 9]. Главным практическим аспектом создаваемой теоретической модели стала разработка поисковых критериев на скрытые гидротермальные месторождения и геотермальные ресурсы, являющиеся составной частью вулканических центров. В этой связи сформулированы структурные, фациальные и вещественные критерии для поисков полезных ископаемых [11].

Настоящая работа является, с одной стороны, дальнейшим развитием концепции вулканических центров, с другой — конкретной разработкой поисковых критериев в приложении к району, особенно нуждающемуся в увеличении энергетических ресурсов. Акцент сделан на геолого-структурных, вулканических, петрохимических и гидрогеохимических критериях, определяющих направление бурения для поиска и разведки термальных вод вблизи г. Елизово.

Геолого-структурная позиция района

Район, рекомендуемый в качестве перспективного для поиска и разведки термальных вод, расположен у юго-западных подножий вулканической гряды, образуемой вулканами Ааг, Арик, Корякский. В строении района участвуют верхнемеловые, неогеновые и четвертичные отложения. Нижний структурный этаж образуют верхнемеловые песчаники, аргиллиты, алевролиты с небольшой долей вулканогенно-осадочных основных и средних пород. Толща верхнего мела интенсивно дислоцирована и метаморфизована до стадии зеленых сланцев и филлитов. Обнажаются они непосредственно в г. Елизово вдоль правого борта долины р. Авача, погружаясь в северо-восточном направлении к вулканической гряде.

На меловых отложениях в районе р. Шумная (к северу от в. Ааг) несогласно залегают вулканогенно-осадочные и вулканогенные образования миоцена. Представлены они эффузивно-пирокластическими отложениями андезитов и базальтов, прорванными интрузиями диоритов и габбро-диоритов. По породам этого среднего яруса развиты интенсивные гидротермальные преобразования: пропилитизация, аргиллизация, окварцевание.

Следующий структурный этаж образован главным образом плиоцен-нижнеплейстоценовым вулканогенным комплексом, залегающим на отложениях миоцена с несогласием [1]. Строение его детально описано в работе [5]. Породы этого комплекса широко развиты на северо-востоке и северо-западе района, где образуют цоколь более молодых вулканогенных образований, погружаясь под них в направлении оси Пиначевско-Аагского грабена.

Вышележащие вулканогенные отложения образуют разрозненные вулканические сооружения: постройки вулканов Ааг, Арик, Корякский, многочисленные отдельные экструзии, мелкие вулканические аппараты. Они представлены базальтами, андезитами, дацитами и относятся к среднему плейстоцену — голоцену [1, 12]. У юго-западных подножий вулканической гряды в течение среднего — верхнего плейстоцена и голоцена накапливались вулканогенно-осадочные отложения, заполнявшие предгорную депрессию и грабен.

На рассматриваемой площади последние излияния лав связаны с побочными центрами Корякского вулкана и относятся к среднему голоцену. Это заключение основывается на выполненных нами тефрохронологических работах. Установлено, что почвенно-пирокластические чехлы подножий Корякского вулкана запечатлели в основном деятельность Авачинского вулкана в голоцене. Тефра последнего имеет четкие маркирующие горизонты, часть из них датирована [6]. Сравнение почвенно-пирокластических чехлов, сформированных на корякских лавовых потоках, с авачинским эталоном позволяет датировать потоки интервалом 5500—3500 лет назад. Не исключено, что некоторые шлаковые и лавовые конусы, связанные с формированием Корякского вулкана и Пиначевско-Аагского грабена, действовали в более позднее время. Имеются указания на историческое излияние лав Корякского вулкана [8].

В структурном отношении изученный участок относится к периферии Налачевского вулканического центра и связанной с ним купольно-кольцевой структуры [11]. Главным структурным элементом района является Термальный рифт в конкретном воплощении Пиначевско-Аагского грабена. На основе выполненного нами геологического картирования масштаба 1 : 50 000 была построена поверхность досреднеплейстоценовых отложений. Она отражает основной, плиоцен-раннеплейстоценовый, и современный этап формирования структуры района (рис. 1).

В структуре данной поверхности хорошо выражен важнейший элемент тектоники Восточной Камчатки — Термальный рифт. На рассматриваемой площади он представлен, как отмечалось, Пиначевско-Аагским грабеном, вмещающим современные гидротермальные системы. Перспективность района для поиска термальных вод подчеркивалась еще в 1965 г. [13]. В 1978 г. нами также был сделан прогноз относительно перспективности грабена и рекомендовано место для бурения — «район к западу от вулкана Корякского и к юго-западу от вулканов Ааг, Арик у восточного края экструзий» [11, с. 167]. Эти выводы подтверждаются новыми материалами. Действительно, указанное место, согласно рельефу досреднеплейстоценовой поверхности, соответствует области максимального прогибания, поэтому перспективно с точки зрения наличия бассейна подземных вод (см. рис. 1).

Для более четкого уяснения структурной позиции района исследования в общей системе структур Юго-Восточной Камчатки полезно обратиться к анализу поверхности нижнего структурного яруса — поверхности мелового фундамента (рис. 2). На приводимой схеме положение меловой поверхности показано сплошными линиями (изогипсами) для тех районов, где использованы непосредственные наблюдения или геофизические данные. Реконструкция по характеру новейших тектонических движений, изменению фаций и мощностей вышележащих отложений и общей структурной ситуации показана на рис. 2 пунктиром.

Одной из характерных особенностей поверхности мелового фундамента является наличие структуры северо-восточного простирания, так называемого Термального рифта. Региональная роль этого рифта показана нами ранее: на него «насажены» Узонский, Карымский, Налачевский вулканические центры [3]. Продольная структура Термального рифта формируется на своде образующейся антиклинали Восточного вулканического пояса. Ось этой зарождающейся антиклинали ундулирует, под-

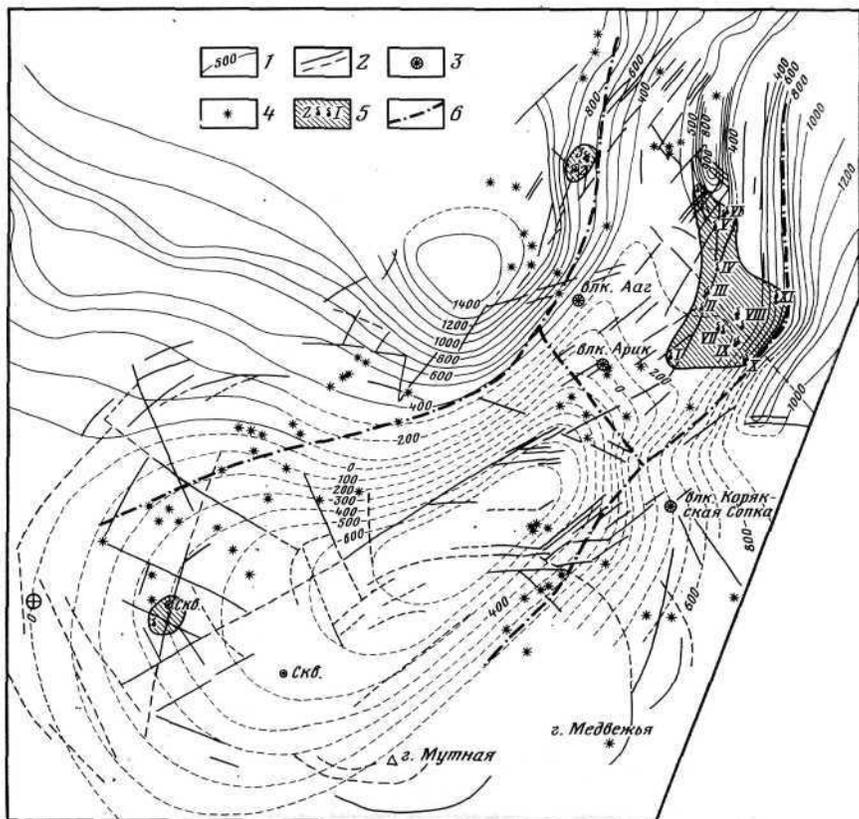


Рис. 1. Поверхность досреднечетвертичных отложений на Пиначевско-Аагском участке. 1 — изолинии (изогипсы) поверхности над уровнем моря, м; 2 — разломы, дешифрованные по аэрофотоснимкам и частично заверенные на местности; 3 — стратовулканы (средний плейстоцен — голоцен); 4 — вулканические аппараты: шлаковые, лавовые конусы и экструзии; 5 — группы термальных и минеральных вод и их номера; 6 — осевые линии перегибов поверхности досреднеплейстоценовых образований

нимаясь в пределах куполов и погружаясь в промежутках между ними. На изученной территории Термальный рифт пересекает свод Налачевского купола, где ось антиклинали Восточного вулканического пояса поднята довольно высоко (в северо-западном борту рифта обнажаются породы миоцена, а поверхность мелового фундамента имеет высоту примерно 200 м). Здесь локализуются термоминеральные проявления Налачевской гидротермальной системы: Налачевские, Краеведческие, Корякские и Аагские источники [11].

Согласно приведенной схеме рельефа мелового фундамента, термальные воды Налачевской гидротермальной системы, включающие и термоминеральные проявления вулканов Ааг, Арик, могут мигрировать вдоль Термального рифта от центра Налачевского купола в северо-восточном и юго-западном направлениях (см. рис. 2). Поверхностным проявлением северо-восточной ветви системы являются Дзэндзурские источники [7]. Сильно метаморфизованные воды, мигрирующие в юго-западном направлении, по-видимому, соответствуют термопроявлениям у высоты 202 м и в скважине ГК-1. Однако локализацию основного объема термальных вод можно ожидать в депрессии к юго-западу от вулканов Ааг и Арик к северо-востоку от пробуренных скважин (Пиначевско-Аагский грабен). Здесь поверхность меловых образований может быть погружена до 2000 м ниже уровня моря.

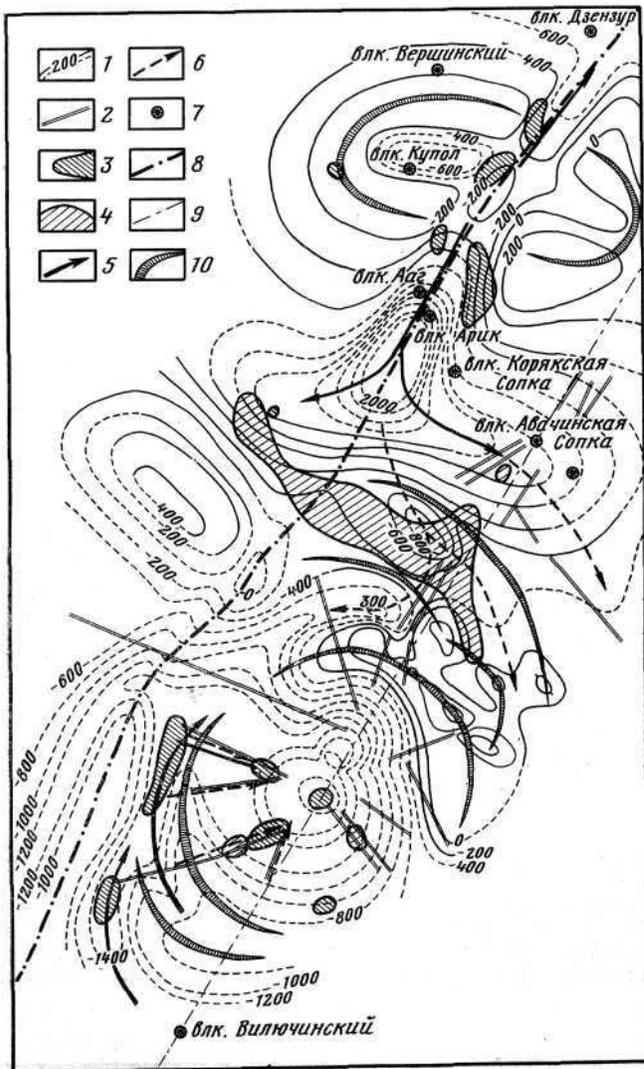


Рис. 2. Карта поверхности мелового фундамента Юго-Восточной Камчатки. 1—изогипсы поверхности, м; 2—разломы; 3—проявления термальных и минеральных вод; 4—гидрохимические аномалии (ионов в мг/л: хлора — более 10, сульфатов — более 15, натрия — более 15, окиси кремния — более 30); 5—основные направления движения термоминеральных вод по поверхности мела; 6—основные направления движения предполагаемых потоков термоминеральных вод; 7—плейстоценовые стратовулканы; 8—оси термального рифта; 9—линеамент; 10—оси дуговых поднятий (блоков)

Юго-западное продолжение Термального рифта выражено очень вяло и лишь в долине р. Паратунка вновь приобретает четкую структурную форму в виде Паратунского грабена.

Гидрогеохимические данные о термоминеральных проявлениях

С целью прогноза поисков термальных вод в пределах Пиначевско-Аагского грабена нами было предпринято обследование и гидрохимическое изучение известных к началу наших работ термоминеральных проявлений района. К числу таких источников относятся Аагские [2] и Пиначевские. В 1963 г. нами впервые были обнаружены многочисленные

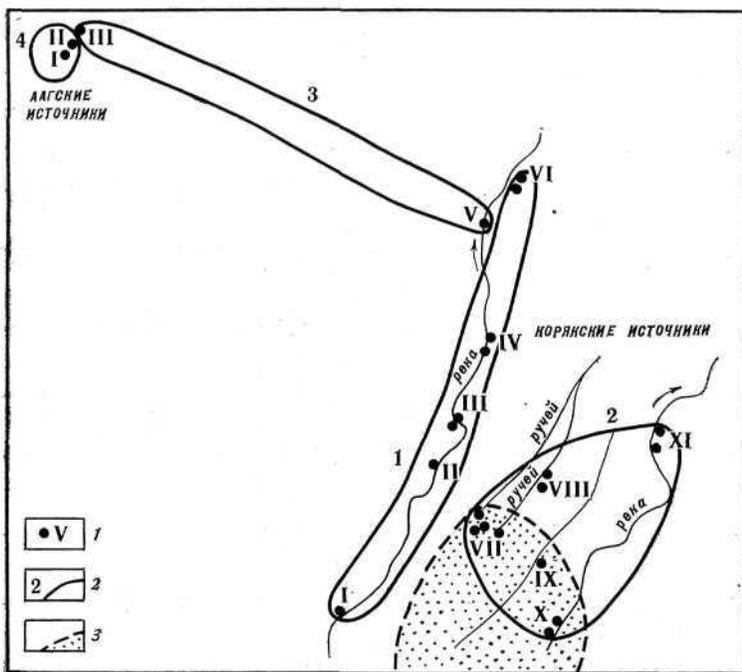


Рис. 3. Гидрохимические типы термоминеральных источников Аагско-Корякского участка. 1— группа источников и ее номер; 2 — контуры распространения химических типов вод термоминеральных источников: 1 — сульфатно-кальциево-магниевый, 2 — гидрокарбонатно-магниевый, 3 — гидрокарбонатно-магниевый-кальциевый, 4 — гидрокарбонатно-железисто-кальциево-магниевый; 3 — область распространения железистых осадков палеисточников

источники углекислых минеральных вод по правым притокам р. Шумная и в истоках р. Левая Налачевая [11]. В настоящей работе дана более детальная характеристика всех этих термопроявлений. Пространственное размещение их показано на рис. 3. Всего описано и обследовано 14 групп источников.

Химические типы вод. Все разнообразие термальных и минеральных вод северных подножий вулканов Ааг, Арик и Корякский представлено четырьмя гидрохимическими типами (табл. 1, 2; рис. 3).

Наибольший интерес представляет сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-магниевый тип (I—IV и VI группы Корякских источников). К нему принадлежат наиболее горячие (до 51° С) и минерализованные (до 3 г/л) воды. Выходы их сосредоточены вдоль р. Шумная в виде узкой полосы протяженностью 6 км. Они приурочены к разлому северо-восточного простирания. С ними связаны как современные, так и более древние (миоцен) гидротермальные изменения пород. Это свидетельствует о длительности развивающегося гидротермального процесса. Намечается продольная зональность для этого типа вод, состоящая в том, что от среднего течения р. Шумная (II группа Корякских источников) в направлении к истокам и низовью реки снижается температура и минерализация этих вод. Это связано, по-видимому, с тем, что в центре зоны происходит разгрузка либо наиболее глубоких, либо наименее разбавленных вод.

Наиболее многочисленную и многодебитную группу минеральных вод объединяет гидрокарбонатно-магниевый тип VII—XI групп Корякских источников. Воды этих групп характеризуются четкой локализацией в виде компактного ареала в истоках правых притоков рек Шумная и Левая Налачевая у северных подножий Корякского вулкана. Выходы вод на поверхность, несомненно, контролируются узлами пересечения разло-

Группа	Источник	T° C	pH	Eh, мВ	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺
II	2	49	6,12	+204	161,0	36,6	442,0	120,0	1,48	0,9
	3	45	6,25	+211	161,0	34,0	410,0	117,2	1,58	1,3
III	1	22	—	—	100,9	28,1	246,0	69,6	—	—
V	1	44	—	—	39,1	13,2	55,0	23,8	—	—
VII	1	—	—	—	49,9	9,8	70,0	100,0	0,58	8,6
	2	—	—	—	49,9	9,8	68,0	103,6	—	—
	3	—	—	—	49,8	9,8	68,0	102,4	—	—
VIII	10	11,1	6,35	+245	51,2	11,9	70,0	105,0	0,03	6,4
	13	9,6	6,30	+243	47,0	9,0	70,0	101,2	0,03	5,7
	1	12,5	5,90	+244	67,1	15,1	80,0	131,8	0,44	9,5
	2	12,5	5,90	+268	67,1	14,7	80,0	131,8	0,70	9,0
	3	10,3	5,95	+283	67,1	13,9	78,0	134,2	0,88	6,4
IX	6	12,9	5,92	+254	66,1	14,6	80,0	129,4	0,80	9,2
	7	13,1	5,95	+240	66,1	14,2	82,0	130,6	0,66	12,0
	1	12,2	6,02	+265	60,0	14,2	78,0	113,1	0,30	11,8
	2	—	—	—	65,0	15,9	84,0	122,0	0,38	7,8
X	1	13,2	6,08	+236	65,0	13,4	102,0	133,0	0,44	16,6
	3	11,8	6,08	+250	61,2	13,0	92,0	131,8	0,48	13,7
XI	1	14,7	6,00	+173	88,0	13,4	122,0	198,8	0,12	5,0
	2	12,8	6,00	+187	94,0	15,5	126,0	200,0	0,22	7,5

Примечание. Аналитик Н. А. Тюрина (1982 г.).

минеральных источников, мг/л

Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	H ₃ BO ₃	H ₂ SiO ₄ (раств.) (колл.)	Общая ми- нерализа- ция	CO ₂ (раств.)	Формула солевого состава
4,50	34,1	1025,1	888,1	0,0	0,0	$\frac{150,0}{25,0}$	2959,7	544,15	$\frac{SO_4 59 HCO_3 38}{Ca 55 Mg 25 Na 17}$
0,80	29,8	1095,1	829,6	0,0	0,0	$\frac{137,0}{30,0}$	2843,7	—	$\frac{SO_4 61 HCO_3 27}{Ca 54 Mg 25 Na 18}$
—	15,6	645,5	549,0	0,0	8,6	$\frac{165,0}{35,0}$	1863,4	—	$\frac{SO_4 59 HCO_3 39}{Ca 53 Mg 25 Na 19}$
—	2,1	6,7	475,8	0,0	—	$\frac{214,0}{0,0}$	777,4	—	$\frac{HCO_3 98}{Ca 40 Mg 29 Na 25}$
1,30	39,8	96,1	658,8	0,0	0,0	$\frac{113,0}{22,0}$	1169,9	810,48	$\frac{HCO_3 77 SO_4 14}{Mg 56 Ca 24}$
—	39,8	105,7	725,9	0,0	0,0	$\frac{104,0}{26,0}$	1232,6	938,18	$\frac{HCO_3 78 SO_4 14}{Mg 59 Ca 24}$
—	38,3	96,1	732,0	0,0	0,0	$\frac{98,0}{22,0}$	1216,0	845,78	$\frac{HCO_3 79 SO_4 14}{Mg 59 Ca 24}$
1,70	41,9	88,4	738,1	0,0	4,8	$\frac{100,0}{20,0}$	1240,2	—	$\frac{HCO_3 80 SO_4 12}{Mg 58 Ca 23}$
2,40	44,0	88,4	756,4	0,0	0,0	$\frac{90,0}{20,0}$	1234,1	775,4	$\frac{HCO_3 80 SO_4 12}{Mg 58 Ca 24 Na 14}$
3,30	45,4	96,1	957,7	0,0	—	$\frac{104,0}{26,0}$	1536,3	1677,68	$\frac{HCO_3 83 SO_4 11}{Mg 58 Ca 21 Na 16}$
3,70	44,0	99,9	976,0	0,0	11,6	$\frac{130,0}{0,0}$	1568,5	1646,89	$\frac{HCO_3 83 SO_4 11}{Mg 58 Ca 21 Na 17}$
2,40	44,7	96,1	945,5	0,0	4,8	$\frac{130,0}{0,0}$	1515,2	1739,22	$\frac{HCO_3 83 SO_4 11}{Mg 59 Ca 21 Na 16}$
3,10	47,6	96,1	968,7	0,0	0,0	—	1565,6	1731,32	$\frac{HCO_3 82 SO_4 11}{Mg 58 Ca 22 Na 15}$
1,52	49,0	105,7	976,0	0,0	0,0	$\frac{122,0}{18,0}$	1577,8	1743,69	$\frac{HCO_3 82 SO_4 11}{Mg 58 Ca 22 Na 15}$
2,66	32,0	69,2	902,8	0,0	4,9	$\frac{117,0}{13,0}$	1419,0	1585,19	$\frac{HCO_3 86}{Mg 56 Ca 23 Na 16}$
5,86	34,0	80,7	994,3	0,0	4,8	$\frac{130,0}{0,0}$	1553,0	1552,25	$\frac{HCO_3 86}{Mg 56 Ca 23 Na 16}$
4,10	17,0	49,9	1183,4	0,0	0,0	$\frac{133,0}{20,0}$	1737,8	1282,78	$\frac{HCO_3 99}{Mg 55 Ca 25 Na 14}$
7,32	14,9	49,9	1122,4	0,0	8,6	$\frac{125,0}{5,0}$	1645,3	1128,5	$\frac{HCO_3 93}{Mg 56 Ca 24 Na 14}$
2,16	41,2	88,4	1525,0	0,0	0,0	$\frac{150,0}{0,0}$	2234,0	415,6	$\frac{HCO_3 89}{Mg 61 Ca 23 Na 14}$
4,26	43,3	96,1	1543,3	0,0	0,0	$\frac{143,0}{17,0}$	2290,3	490,46	$\frac{HCO_3 89}{Mg 59 Ca 23 Na 15}$

Группа	Источ- ник	T° C	pH	Eh, мВ	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺
I	3	6,5	5,35	+236	3,9	1,9	12,0	5,5	0,17	10,20	2,9	0,3
II	4	10,2	5,25	+256	5,9	2,1	17,0	5,3	0,32	16,0	5,3	0,0
	8	5,0	5,40	+221	4,9	2,0	17,2	6,3	0,40	15,20	7,2	0,0
	9	12,3	5,45	+233	8,9	2,7	29,5	13,8	0,50	20,30	5,6	0,0
III	10	39,9	5,9	+186	81,0	17,7	74,5	59,6	0,14	3,80	1,5	0,0
	11	35,9	5,75	+180	89,0	19,6	96,0	66,3	0,12	4,50	2,0	0,0
	12	12,1	—	—	46,8	10,8	47,0	37,3	0,28	12,70	11,70	0,0
	13	33,2	5,85	+188	82,0	18,6	94,5	62,6	0,24	5,20	2,8	0,0
	14	28,5	5,85	+206	74,0	16,2	88,0	57,8	0,20	5,95	2,4	0,0

Примечание. Аналитики Г. Ф. Князева, Н. А. Тюрина (1983 г.).

мов северо-западного и северо-восточного простирания. Для вод этого типа характерна наибольшая стабильность температуры (от 10 до 15° C) и самая высокая концентрация растворенного углекислого газа (до 1,7 г/л). Деятельность источников этого типа вод, по-видимому, началась еще в верхнем плейстоцене, о чем свидетельствует наличие железистых осадков в основании голоценовых чехлов в пределах той площади, где происходит современное образование подобных осадков. Следует подчеркнуть сравнительную редкость настоящего типа углекислых вод. Обычно образование вод подобного типа принято связывать с выщелачиванием высокомагнезиальных пород. Однако нами показано [11], что подобные воды могут иметь глубинное происхождение, участвуя в выносе и отложении фосфора. Корякские нарзаны распространены в районе, где нет никаких оснований предполагать наличие сколько-нибудь значительных объемов ультраосновных пород. Как и ранее изученные Дзендзурские воды, они откладывают осадки с повышенным содержанием фосфора. Следует также иметь в виду, что их температура выше температуры поверхностных и грунтовых вод. Все это дает основание предполагать, что глубинным в этих водах является не только углекислый газ, но и минеральная составляющая.

Другим типом термальных вод в изученном районе являются воды гидрокарбонатно-кальциево-магниевые (или магниевые-кальциевые)-натрового состава. В отличие от предыдущего этот тип вод характеризуется сравнительно невысокой минерализацией (до 1,4 г/л) и нечеткой пространственной локализацией. Выходы этих вод встречаются как на р. Шумная (V группа Корякских источников), так и в истоках р. Чистая (III группа Аагских источников). Можно предположить, что этот тип вод связан с разломами северо-западного простирания, широко проявленными на изученной территории. На вероятность такой связи впервые обратил внимание Е. А. Вакин [2].

Аагских минеральных источников, мг/л

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	H ₃ BO ₃	H ₄ SiO ₄ (раств.)	Общая ми- нерализа- ция	CO ₂ (раств.)	Формула солевого состава
0,7	1,0	115,9	0,0	0,0	72,0	227,6	1848,98	$\frac{HCO_3,98}{Ca32Fe28Mg24}$
1,7	0,4	170,8	0,0	0,0	80,0	318,1	1615,01	$\frac{HCO_3,98}{Ca35Fe32Mg21}$
0,7	0,6	170,8	0,0	0,0	77,0	301,9	1163,51	$\frac{HCO_3,99}{Fe36Ca33Mg20}$
1,4	0,0	268,4	0,0	0,0	99,0	452,9	1493,38	$\frac{HCO_3,99}{Ca31Mg30Fe27}$
1,8	2,9	766,0	0,0	0,0	215,0	1226,6	384,24	$\frac{HCO_3,99}{Mg38Ca29Na27}$
1,8	26,9	884,5	0,0	0,0	232,5	1424,2	341,58	$\frac{HCO_3,96}{Mg37Ca32Na26}$
1,8	1,5	549,0	0,0	0,0	153,0	877,8	449,86	$\frac{HCO_3,92}{Mg35Ca27Na23Fe12}$
1,4	33,6	835,7	0,0	0,0	220,6	1412,1	381,65	$\frac{HCO_3,35}{Mg37Ca33Na24}$
1,8	17,3	793,0	0,0	0,0	192,2	1262,8	419,52	$\frac{HCO_3,97}{Mg36Ca33Na24}$

Четвертый тип вод является гидрокарбонатно-кальциево-железозмагниевым (I, II группа Аагских источников). Этот тип является еще более редкой разновидностью, чем предыдущий. Железо входит в формулу солевого состава воды, иногда занимая первое место среди катионов. Эти воды являются самыми холодными (менее 12° С) и наименее минерализованными (меньше 0,45 г/л). Воды имеют локальное распространение (см. рис. 3) и, по-видимому, относятся к водам поверхностного формирования, где солевая нагрузка заимствуется из окружающих пород.

Концентрация ионов в термоминеральных водах. Помимо выделения химических типов вод выявлению закономерностей формирования их солевого состава может способствовать рассмотрение пространственного распределения ионов в этих водах. Оно вскрывает действительный характер связей между ионами и их зависимость от глубинных структур.

Например, распределение гидрокарбонат-ионов в изученных водах показывает, что наиболее высокие концентрации связаны с III группой Аагских источников и с II, VIII—XI группами Корякских источников. Если судить по рисунку изолиний концентрации (см. рис. 4, а), такое распределение связано с наличием двух линейных участков максимального выноса гидрокарбонат-иона на поверхность. Эти участки, несомненно, отражают положение глубоких разломов или зон повышенной проницаемости земной коры. Одна из них расположена на востоке района, имеет северо-восточное простирание и проходит через VIII—XI группы Корякских источников. К ее оси приурочена XI группа источников. Вторая, менее проницаемая зона имеет северо-западное простирание и проходит через III группу Аагских и II группу Корякских источников. Основное поступление на поверхность гидрокарбонатов связано с северо-восточной, менее значительное — с северо-западной зонами. Выявленная закономерность дает основание рекомендовать изучение первой зоны и за пределами исследованной площади, как наиболее перспективной для

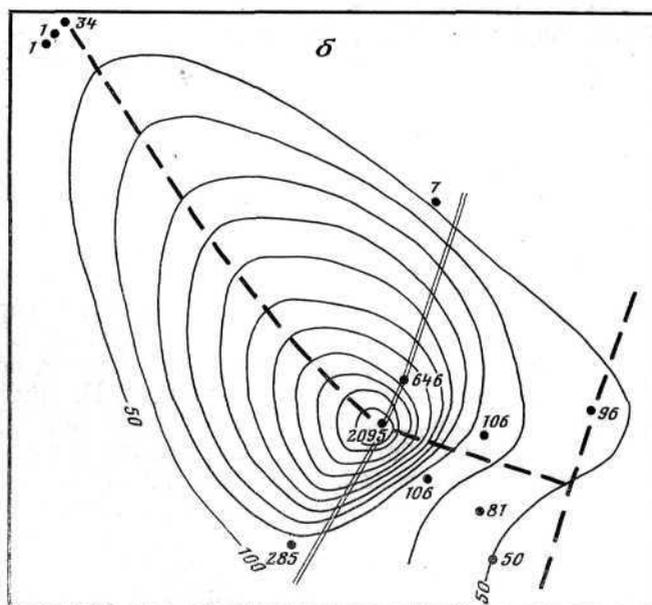
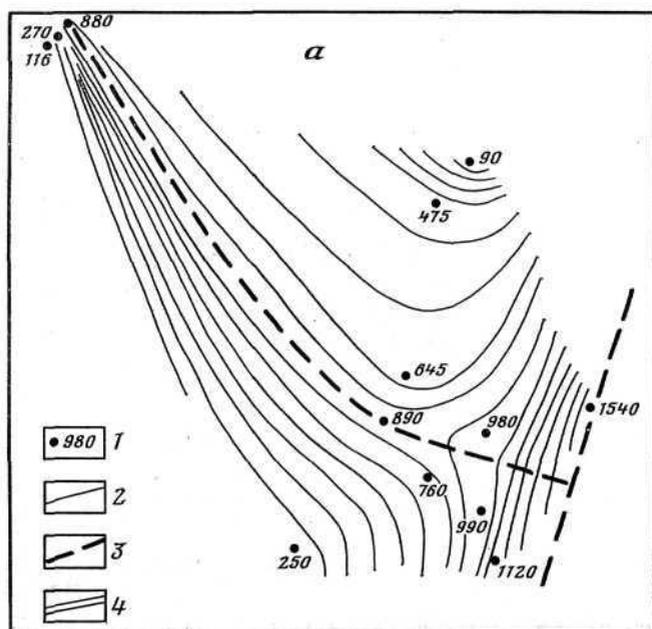


Рис. 4. Распределение концентраций гидрокарбоната (а) и сульфата (б) в водах термоминеральных источников Аагско-Корякского участка. 1 — группы источников и максимальное содержание ионов в воде этой группы, мг/л; 2 — изолинии концентраций ионов, проведены через 100 мг/л; 3 — предполагаемые зоны разломов; 4 — разлом по р. Шумная

поиска углекислых минеральных вод. Эта зона совпадает с восточным бортом Термального рифта и прослеживается через вершину и западные склоны Корякского вулкана в юго-западном направлении.

Аналогичным образом ведет себя ион магния, что указывает на наличие сильной положительной корреляции между ионами магния и гидрокарбоната и является дополнительной аргументацией в пользу высказанного выше предположения о глубинном источнике магния. Хлор-ион ло-

Состав спонтанных газов корякских нарзанов, об. %

Проба	O ₂	N ₂	Ar	CO ₂	CH ₄
II ₂	0,28	1,80	0,02	97,90	15·10 ⁻⁴
VIII ₁	Нет	19,65	0,153	80,08	0,116
VIII ₂	»	25,20	0,16	74,50	0,143
VIII ₃	»	20,70	0,163	79,07	7,5·10 ⁻²
VIII ₇	»	19,05	0,133	80,70	0,114
IX ₁	»	19,99	0,102	79,88	2,3·10 ⁻²
X ₁	»	10,58	0,092	89,262	6,6·10 ⁻²
X ₃	»	22,05	0,16	77,75	4·10 ⁻²

Примечание. Аналитик Р. В. Гусева (1982 г.).

Таблица 4

Состав спонтанных газов Аагских минеральных источников, об. %

Группа источников	Источник	He	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	Ar	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
I	3	0,0	0,0	0,0	14,06	9,340	76,45	0,0	0,141	10,56·10 ⁻⁴	5,58·10 ⁻³
II	4	0,0	0,0	0,0	11,97	7,062	80,77	0,0	0,154	7,68·10 ⁻⁴	0,0414
	8	0,0	0,0	0,0	34,06	16,44	48,91	0,0	0,475	4,48·10 ⁻⁴	0,117
	9	0,0	0,0	0,0	19,25	6,67	73,77	0,0	0,251	1,92·10 ⁻⁴	0,0581
III	10	0,0	0,0	0,0	1,459	0,316	98,13	0,0	0,0301	—	0,0601
	11	0,0	0,0	0,141	0,845	0,0176	98,97	0,0	0,021	—	0,3·10 ⁻⁴
	12	0,0	0,0	0,0354	0,602	0,0285	99,31	0,0234	0,0	0,55·10 ⁻⁴	0,16·10 ⁻⁴
	13	0,0	0,0	0,0	0,141	0,0189	99,84	0,0	0,0050	—	—
	14	0,0	0,0	0,0	0,333	0,0376	99,62	0,0	0,0134	—	—

Примечание. Аналитик Е. М. Декштейн (1983 г.).

кализуется в виде максимума в VIII группе Корякских нарзанов. Такое его распределение свидетельствует о приуроченности максимума эндогенного потока хлора к зоне нарушения северо-западного простирания вблизи ее пересечения с зоной северо-восточных нарушений. Локализация источников группы VIII обусловлена наличием разлома северо-северо-восточного простирания. По-видимому, этот разлом является одним из дериватов северо-восточной зоны нарушений, который, пересекаясь с северо-западной зоной, создает наиболее благоприятные условия для миграции эндогенного хлора.

Распределение сульфатов кальция, натрия и ионов калия иллюстрирует следующий случай образования локального потока вещества при пересечении описанной зоны нарушений с поперечным к ней разломом вдоль р. Шумная. На месте этого пересечения расположена II группа Корякских источников, вода в которой характеризуется максимальной концентрацией перечисленных ионов (см. рис. 4, б).

Таким образом, рассмотрение пространственного распределения концентраций отдельных ионов в термоминеральных водах выявило следующие важные закономерности: 1) по характеру распределения ионы образуют три различные группы, внутри которых поведение ионов подобно (гидрокарбонаты — магний, хлор, сульфаты — кальций — натрий — калий); 2) каждая из выделенных групп независима и отражает различные элементы структурного контроля.

Состав спонтанных газов термоминеральных источников. Воды изученной площади относятся к углекислым (табл. 1, 2). Содержание углекислого газа в спонтанных газах колеблется от 49 до практически 100 об.% (см. табл. 3, 4). Вторым газом по объемной доле является азот. Его содержание колеблется от долей процента до 34%. Углеводороды —

третий компонент газовой смеси (от долей процента до 16%). Повышенные концентрации углеводородов характерны для Аагских холодных источников. На распределение азота заметное влияние оказывает температура термоминеральной воды: количество его снижается с ростом температуры.

Состав осадков из термоминеральных вод

Характерной особенностью термоминеральных вод изученного района является выпадение из них огромного количества осадков. Основным компонентом осадков являются окислы железа (табл. 5, 6), выпадающие в виде коллоидного рентгеноаморфного вещества. Их количество варьирует от 34 до 63 вес.%, что в пересчете на сухой осадок (без воды) составляет 38 и 83 вес.% окислов железа.

Вторым по количеству компонентом осадков является окись кремния — 8—30 вес.% (без воды). Концентрация алюминия в некоторых образцах достигает 9—15 вес.% (без воды). В заметных количествах в осадках присутствуют окислы фосфора (до 4,3 вес.% в пересчете на безводный осадок). Наибольшее количество окислов фосфора содержится в осадке вод гидрокарбонатно-магниевого типа (группа VII—XI Корякских источников). Согласно ранее опубликованным данным [7], осаждение фосфора термоминеральными источниками указывает на их связь с вулканическим процессом.

В проведенных ранее работах нами показано, что состав выпадающих осадков зависит от изменения физико-химической обстановки при выходе воды на поверхность и в процессе ее движения на поверхности [11]. Вследствие этого первичное распределение осадков вокруг грифона имеет закономерный характер. Вблизи от грифона концентрируются железоокисные рудные осадки, а на некотором удалении от него — карбонатно-кальциевые (безрудные). Нами в изученном районе отбирались только рудные осадки. Изучение этих осадков предпринято с целью использования их в качестве поискового критерия скрытых гидротермальных систем. Действительно, наличие подобных осадков среди молодых и новейших отложений является однозначным свидетельством недавних проявлений термоминеральных вод. Это было подтверждено при

Таблица 5

Химический состав осадков из Корякских минеральных вод, вес. %

Окислы	Источник											
	VI ₁	VII ₂	VII ₁₃	VIII ₁	VIII ₃	VIII ₇	VIII ₉	IX ₂	X ₂	X ₃	X ₄	XI ₂
SiO ₂	8,57	11,0	13,62	10,40	10,20	9,72	26,04	6,91	13,61	11,48	14,38	23,0
TiO ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	11,58	0,0	0,0	0,0	0,0	0,49	7,50	0,0	1,45	0,46	0,40	0,0
Fe ₂ O ₃	39,26	55,15	51,34	58,0	57,0	54,43	33,80	60,2	49,33	50,86	50,00	39,0
FeO	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,86	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0
MnO	0,0	0,0	0,47	0,0	0,20	0,10	0,13	0,05	0,10	0,05	0,28	0,1
MgO	0,0	0,0	0,80	0,4	0,78	0,86	1,30	0,0	0,66	0,60	0,66	1,47
CaO	0,6	2,34	3,04	3,04	3,37	3,58	7,52	2,70	4,10	4,25	4,08	4,44
Na ₂ O	—	—	—	0,27	0,27	0,18	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	—	—	—	0,24	0,0	0,0	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	15,04	17,74	17,00	16,94	17,80	16,00	7,84	17,42	16,35	17,95	17,60	15,69
H ₂ O ⁺	11,66	12,62	5,85	6,76	6,80	7,2	6,83	7,78	8,50	7,65	8,08	10,32
P ₂ O ₅	0,10	2,40	3,50	2,20	2,10	2,1	0,29	2,1	2,23	1,92	2,81	2,87
Al ₂ O ₅	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	—	—	—	—	—
CO ₂	0,10	1,60	2,76	2,20	1,96	2,1	3,02	1,8	2,80	3,80	2,8	2,40
ППП	3,59	0,0	1,59	0,0	0,24	1,49	0,55	1,1	0,35	0,70	0,78	0,70
S эл.	3,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	100,36	101,26	99,97	100,23	100,72	99,11	99,02	100,06	99,48	100,22	101,87	99,98

Примечание. Аналитик В. В. Дунин-Барковская (1983 г.).

Химический состав осадков из Аагских минеральных вод, вес. %

Оксиды	Источник								
	3	4	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	3,12	10,66	6,12	8,10	18,02	19,24	11,72	16,68	19,56
TiO ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	1,98	0,41	0,41	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Fe ₂ O ₃	61,71	57,42	59,02	62,95	51,42	50,01	51,60	51,08	49,88
FeO	0,86	0,57	0,57	0,43	0,35	0,28	0,28	0,28	0,57
MnO	сл.	сл.	0,04	сл.	0,17	0,13	0,22	0,11	сл.
MgO	1,22	0,43	0,63	0,95	1,90	1,36	1,36	0,81	0,27
CaO	1,23	0,65	0,98	1,13	2,26	3,40	2,64	3,40	2,55
Na ₂ O	0,24	0,09	0,13	0,18	0,27	0,20	0,24	0,24	0,13
K ₂ O	0,18	0,12	0,12	0,12	0,24	0,18	0,18	0,24	0,16
H ₂ O ⁻	15,92	20,04	19,88	16,95	14,48	14,16	19,76	15,52	15,60
H ₂ O ⁺	7,64	6,28	7,70	7,42	7,56	8,14	7,71	8,44	7,62
P ₂ O ₅	н./обн.	н./обн.	1,60	0,30	н./обн.	н./обн.	н./обн.	н./обн.	0,51
CO ₂	1,1	3,52	2,60	1,50	2,42	2,28	3,28	3,15	3,16
Сумма	100,30	100,19	99,68	100,44	99,64	99,93	99,54	100,50	100,42

Примечание. Аналитик Г. Ф. Князева (1983 г.).

Таблица 7

Химический состав осадков из минеральных источников, действовавших в недавнем прошлом, вес. %

Оксиды	Осадки				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	39,40	25,3	21,5	26,04	12,3
TiO ₂	0,63	0,3	0,5	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	12,24	3,5	5,4	7,5	0,0
Fe ₂ O ₃	19,25	36,1	35,9	33,80	50,54
FeO	4,32	3,6	4,7	0,0	0,0
MnO	0,45	0,1	0,2	0,13	1,62
MgO	3,62	3,9	3,5	1,30	0,0
CaO	6,38	3,5	5,1	7,52	1,91
Na ₂ O	2,60	2,0	1,9	—	—
K ₂ O	1,06	1,1	0,8	—	—
H ₂ O ⁻	6,95	13,8	13,8	7,84	14,9
H ₂ O ⁺	2,94	5,6	5,8	6,83	7,9
P ₂ O ₅	0,08	0,0	0,0	0,29	5,62
Сумма	99,62	98,8	99,1	93,65	94,79

Примечание. 1 — ожелезненный гравелит; 2, 3 — рудный остаток после исключения из анализа 1 соответственно составов базальта и андезита; 4 — современный осадок (см. табл. 5); 5 — осадок из минеральных вод в источниках ручья Первый (район к югу от в. Авача, гора Монастырь).

Аналитик В. В. Дунин-Барковская.

детальном обследовании района развития Корякских источников на междуречье рек Шумная и Левая Налычевая. Здесь на площади около 6 км³ среди верхнеплейстоцен-голоценовых вулканогенных, вулканогенно-осадочных, пролювиально-делювиальных и аллювиальных отложений обнаружены горизонты пород, сильно обогащенные окислами железа, мощностью до 2 м и протяженностью до нескольких сотен метров. Это несомненные свидетельства обширной в недавнем прошлом гидротермальной деятельности, проявляющейся южнее современного ареала термоминеральных вод. Несмотря на некоторую литификацию пород и факторы выщелачивания, действовавшие после отложения осадков, их состав идентичен некоторым осадкам современных минеральных вод (см. табл. 7).

Пиначевские термопроявления. Обособленное положение в Пиначевско-Аагском грабене занимают естественные термопроявления (12°С) и термальные воды, вскрытые скважиной ГК-1, к югу от вулканов Ааг и

Арик у пиначевских экструзий андезитов и андезитодацитов. По типу они относятся к хлоридно-натриевым азотно-метановым: CH_4 63—75, N_2 23—36, HVO_3 58, H_2SiO_3 83.

$$M_{5,0} \frac{\text{Cl } 95 \text{ HCO}_3 \text{ 4}}{\text{Na } 69 \text{ Ca } 22} \text{pH } 7,8; \text{ Eh } + 160\text{mV}, \text{ t } 21^\circ\text{C}.$$

Значительная удаленность от Корякских и Аагских источников термоминеральных вод, приуроченность к крайней периферии района проявления новейших и современных тектономагматических процессов предопределили столь существенное отличие Пиначевских термопроявлений от изученных нами вод.

Обоснование перспективности Пиначевско-Аагского грабена на термальные воды

Проявления четвертичного магматизма используются в качестве поискового критерия скрытых гидротермальных систем. Нами предложено количественное выражение этого признака в виде числа вулканических аппаратов на единицу площади, т. е. их плотности. Теоретические основы этого критерия состоят в том, что корни вулканических аппаратов и их подводящие каналы являются источниками тепла в окружающей их среде [9, 10]. Перенос тепла осуществляется как кондуктивным, так и конвективным способом. В последнем случае подводящие каналы вулканических аппаратов играют роль эндогенных дренажных систем, вынося в окружающую среду не только расплавы, но и флюиды. Концентрация вулканических аппаратов увеличивает мощность эндогенных дренажных систем и, следовательно, делает наиболее вероятной формирование в месте такого сгущения или вблизи от него гидротермальной системы.

Определение плотности вулканических аппаратов было выполнено нами для среднеплейстоцен-голоценовых как сравнительно хорошо реконструируемых и отвечающих последнему отрезку времени, т. е. наиболее способных повлиять на распределение современных эндогенных потоков вещества и энергии. Изображение плотности вулканов на топооснове масштаба 1 : 50 000 при площади скользящего квадрата, равной 36 км², выявило сравнительно детальное строение эндогенных потоков вещества и энергии на Пиначевско-Аагском участке (см. рис. 5). Рисунок изолиний плотности позволяет наметить осевые линии, вдоль которых располагаются наибольшие концентрации вулканических аппаратов. Видно, как близко соответствуют эти линии осям перегибов досреднеплейстоценовой поверхности, формирующей Пиначевско-Аагский грабен. Следовательно, положение перегибов исследованной поверхности имеет эндогенную тектоническую природу, так как соответствует наибольшей плотности эндогенного потока, приуроченного к ослабленным зонам. В первую очередь это разломы, формирующие борта грабена, во вторую — поперечная к ним трещина, смещающая дно грабена. Вследствие движения по ней юго-западная часть грабена существенно погружена относительно северо-восточной.

В настоящее время ареной наземных гидротермальных проявлений является этот северо-восточный блок грабена. Здесь обнаружены и изучены Аагские и Корякские источники (см. рис. 5). В пределах юго-западного блока известны только проявления термальных вод у высоты 202. Там же термальные воды вскрыты скважиной ГК-1. Между тем этот южный участок находится в значительно более благоприятных условиях, чем северо-восточный, так как не с двух, а с трех сторон он окружен зонами, весьма насыщенными вулканическими проявлениями с концентрацией 11—14 аппаратов на 36 км.

На рис. 6 показано распределение окиси кремния в вулканических породах среднего плейстоцена — голоцена, на Пиначевско-Аагском

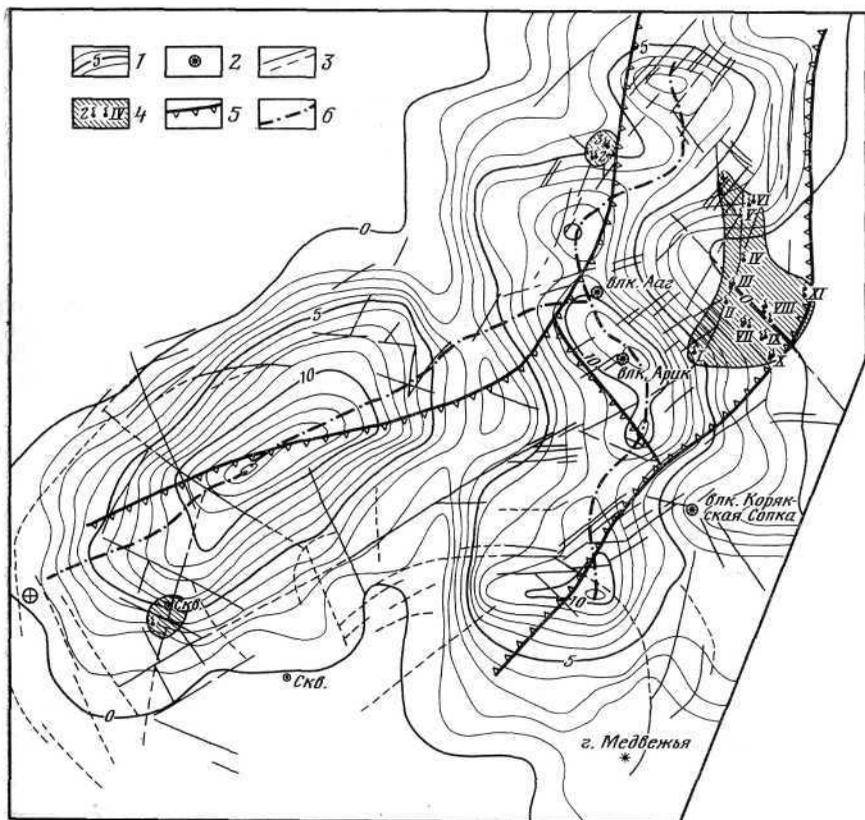


Рис. 5. Плотность размещения вулканических аппаратов на Пиначевско-Аагском участке. 1 — изолинии плотности (количество на 36 км); 2 — стратовулканы (средний плейстоцен — голоцен); 3 — разломы, дешифрованные по аэрофотоснимкам и частично заверенные на местности; 4 — группы термальных и минеральных источников с их номерами; 5 — осевые линии перегибов поверхности досреднеплейстоценовых образований; 6 — осевые линии наибольших концентраций вулканических аппаратов на единицу площади

участке. Для исчерпывающей характеристики петрохимической зональности участка данных недостаточно. Однако и имеющиеся позволяют сделать интересный вывод о приуроченности наиболее насыщенных кремнеземом пород к средней и западной части грабена. Такая зональность позволяет предположить, что именно в этих участках грабена имеются коровые очаги кислой магмы, т. е. прогрев верхних горизонтов коры здесь должен осуществляться более интенсивно, чем вдоль восточного обрамления грабена. Этому предположению соответствует положение термальных вод в грабене — они приближены именно к петрохимическим зонам с относительно повышенным содержанием окиси кремния. Экстраполируя эти данные в юго-западном направлении, можно предположить, что наибольший вынос тепла должен осуществляться вдоль западного обрамления Пиначевско-Аагского грабена, где располагается система андезитодацитовых экструзий и где имеются проявления термоминеральных вод. Именно вдоль западного борта грабена расположены Краеведческие, Таловые, Налачевские, Аагские и Пиначевские термальные воды.

Таким образом, приведенный комплекс данных позволяет надеяться на наличие в недрах грабена термоминеральных вод. Здесь доказано существование грабена по поверхности досреднеплейстоценовых образований (см. рис. 1), обоснованно предполагается его структура по по-

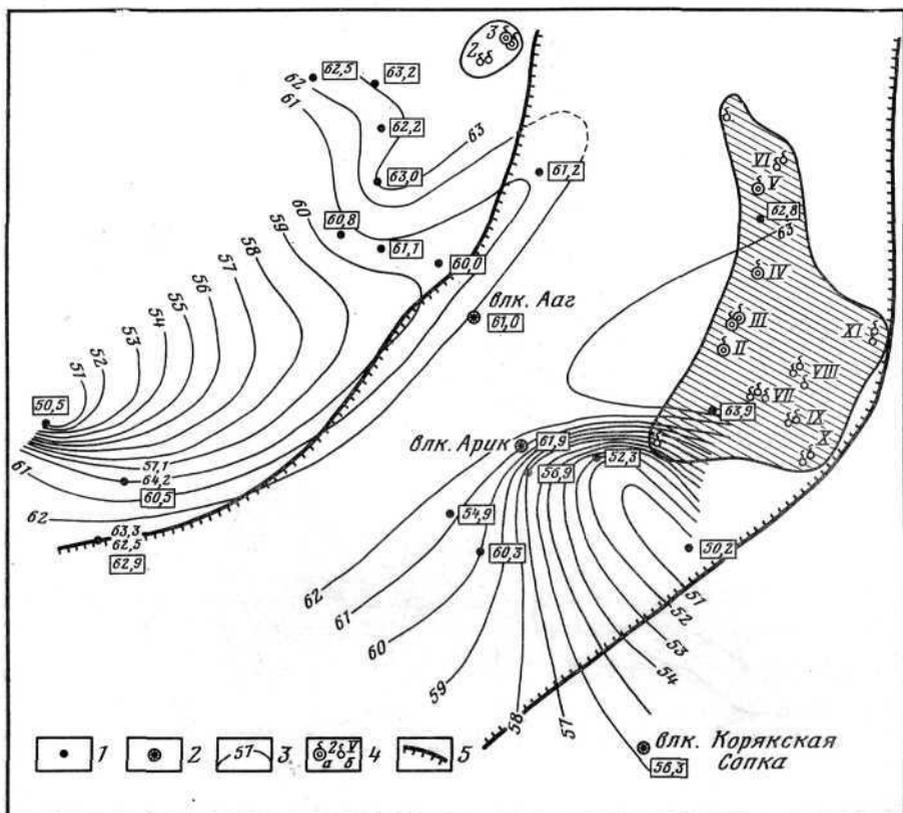


Рис. 6. Петрохимическая зональность Пиначевско-Аагского участка. — экстрезии, шлаковые и лавовые конусы среднего плейстоцен — голоцен и содержание окиси кремния в их породах (в рамке — среднее содержание); 2 — стратовулканы и содержание окиси кремния в их породах; 3 — изолинии среднего содержания окиси кремния в среднеплейстоцен-голоценовых вулканических породах; 4 — группы термальных (а) и минеральных (б) вод и их номера; 5 — Термальный рифт; штриховка — участки термо-минеральных проявлений

верхности мелового фундамента (см. рис. 2). Наличие новейших эндогенных «стоковых» систем показано по распределению плотности вулканических аппаратов (см. рис. 5). При этом вероятно питание их и других подземных вод, заполняющих грабен, эндогенным флюидом в процессе движения близ корневых систем новейших вулканических проявлений. О наиболее вероятном направлении движения теплоносителя можно судить по карте плотностей разломов, дешифрованных по аэрофотоснимкам и частично заверенных на месте (см. рис. 7). На карту нанесены также участки наибольшей плотности вулканических аппаратов, т. е. места наиболее концентрированного выноса вещества и энергии. Отток тепла от них должен осуществляться в первую очередь вдоль зон наибольшей трещиноватости, т. е. наиболее насыщенных разломами. Эти направления показаны стрелками. Оказалось, что все известные проявления термальных вод грабена располагаются вдоль этих направлений (см. рис. 7). Это Аагские, Корякские (вдоль р. Шумная) и Пиначевские источники. Такое совпадение сильно повышает доверие к предложенному методу выявления скрытых месторождений термальных вод.

На южном склоне вулканов Ааг и Арик термоминеральные проявления и сопутствующие им осадки нами не обнаружены. Однако есть все основания предполагать, что в этом районе должны находиться скрытые гидротермальные проявления. Напомним приведенные выше соображения о роли системы северо-восточных разломов в выносе глубинных.

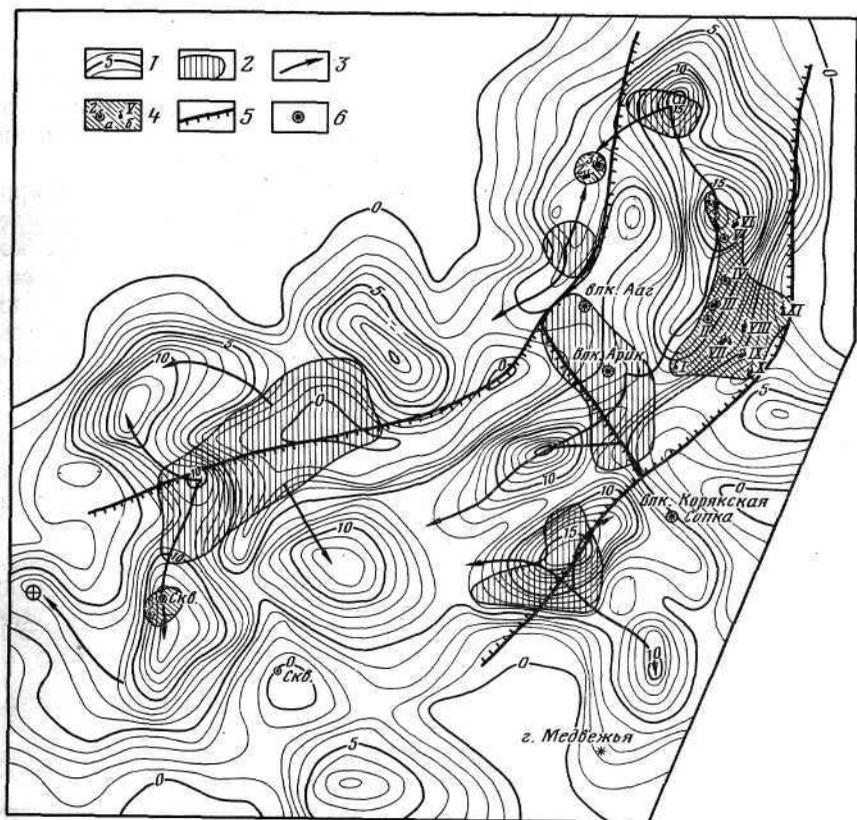


Рис. 7. Плотность дешифрованных разломов на Пиначевско-Аагском участке. 1 — изолинии плотности разломов в км на 9 км²; 2 — участки наибольшей (более 9 км на 36 км²) концентрации вулканических аппаратов; 3 — главнейшие направления оттока тепла и флюида по зонам трещиноватости от их эндогенных концентров; 4 — группы термоминеральных (а) и минеральных (б) источников и их номера; 5 — оси перегибов поверхности досреднеплейстоценовых образований, формирующих грабен; 6 — среднеплейстоцен-голоценовые стратовулканы

гидрокарбонатов и магнезия, дренирующей роли пересечений северо-восточных и северо-западных разломов в распределении таких эндогенных компонентов, как хлор, калий, натрий, сера и т. д. Все эти тектонические факторы широко проявлены и на южном склоне указанных вулканов. Однако проявления глубинных эманации здесь подавлены наличием мощной зоны аэрации и низким уровнем подземных вод: восходящие эндогенные потоки не достигают земной поверхности. Это связано, по-видимому, с наличием глубокого прогиба поверхности мелового фундамента — иглавного водоупора в разрезе верхней части земной коры — и относительно высокими фильтрационными свойствами неоген-четвертичных отложений.

Таким образом, комплекс геологических данных дает основание для включения района Пиначевско-Аагского грабена в число перспективных для поиска горячих вод. Дополнительным подтверждением этого вывода являются хлор-натрий-кремниевые гидрохимические аномалии на юго-западном ограничении структуры — месте предполагаемой частичной разгрузки глубинных вод депрессии.

В соответствии с комплексом приведенных данных наиболее первоочередным и перспективным местом поисково-разведочного бурения должен быть район, рекомендованный нами еще в 1978 г. [11]. Это юго-западный блок Пиначевско-Аагского грабена, показанный на рис. 1, 5, 7. Наиболее погруженная часть грабена к северо-востоку от пробуренных

скважин может содержать горячие воды, питаемые флюидом и теплом со стороны Пиначевских экстрюзий, вулканов Ааг, Арик, Корякский и шлаковых конусов у юго-западного подножия в. Корякский. Трещинно-пластовые термальные воды могут быть встречены также возле бортов грабена — ослабленных тектонических и магмовыводящих зон в интервале глубин от первых сотен до 2000 м.

От Пиначевско-Аагского грабена горячие воды могут мигрировать вдоль Авачинско-Корякской депрессии в юго-восточном направлении. Ось этой депрессии и, следовательно, миграция вод проходят южнее вулканов, у их юго-западных подножий. Дополнительный прогрев вод может осуществляться системой подводных каналов вулканических аппаратов у этих подножий. Руководствуясь данными об их наибольшем сгущении, следует рекомендовать как вероятную для обнаружения горячих вод полосу подножий в 6—9 км к югу от линии, проходящей через Корякский и Авачинский вулканы (см. рис. 2).

На этом же Пиначевско-Аагском участке может быть опробован бурением (с предварительными геолого-геофизическими работами) район села и р. Пиначева. Приближенность зон разломов к экстрюзиям позволяет ожидать здесь наличия трещинных горячих вод (рис. 7).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Апрелков С. Е.* Геология позднеогеновых и четвертичных вулканов хребта Ивулк на Камчатке//Вулканические и вулcano-плутонические формации. М.: Наука, 1966. С. 56—72.
2. *Вакин Е. А.* Аагские термоминеральные источники на Камчатке//Бюл. вулканол. ст. 1966. № 41. С. 35—40.
3. Вулканический центр: строение, динамика, вещество. М.: Наука, 1980. 299 с.
4. *Егоров О. Н.* Центры эндогенной активности (вулканические системы). М.: Наука, 1984. 165 с.
5. *Ермаков А. А., Алыпова О. М., Егорова И. А.* Состав и возраст алнейской серии и платобазальтов Юго-Восточной Камчатки//Изв. АН СССР. Сер. геол. 1969. № 7. С. 115—124.
6. Камчатка, Курильские и Командорские острова. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1974. С. 191—198.
7. *Комкова Л. А.* Вулканогенное образование фосфатов//Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 44—52.
8. *Маренина Т. Ю., Сирин А. Н., Тимурбаева К. М.* Корякский вулкан на Камчатке//Тр. Лаб. вулканол. 1962. Вып. 22. С. 67—130.
9. *Масуренков Ю. П.* Вулканы над интрузиями. М.: Наука, 1979. 210 с.
10. *Масуренков Ю. П., Горицкий Ю. А.* Разогрев и плавление среды вокруг вулканического канала//Бюл. вулканол. ст. 1978. № 55. С. 76—78.
11. *Масуренков Ю. П., Комкова Л. А.* Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. М.: Наука, 1978. 274 с.
12. *Мелекесцев И. В., Кравая Т. С., Брайцева О. А.* Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 103 с.
13. *Поляк Б. Г., Вакин Е. А., Овчинникова Е. Н.* Гидрогеотермические условия вулканического района Камчатки. М.: Наука, 1965. 92 с.

Институт вулканологии
ДВНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
18.III.1985

¹ Уже после сдачи статьи в редакцию были получены данные о том, что скважина, пробуренная у северо-западного борта грабена (см. рис. 1) вблизи осевой линии плотности вулканических аппаратов (см. рис. 5), вывела с глубины 341 м термальную воду с температурой 57°С и расходом 8,6 л/с. Эта скважина помечена на рис. 1, 5, 7 кружком с крестиком.